

太陽像を用いたシーイングの測定

科学探究部天文班：
栗飯原 凜久、富永 光葉、星川 祥太郎、矢代 優空（高2）【東京都立富士高等学校】、
落合 咲輝（中3）【東京都立富士高等学校附属中学校】

要 旨

本研究では都立富士高校での太陽像を用いたシーイングの検出を目的とする。独自のシーイング測定プログラムを開発し、試験観測を行った。観測によって得た合計約20万フレームを用いて、本校の2か所でのシーイングを評価した。この結果から、観測したタイミングでは屋上のシーイングがより優れていた。

1. 序論

東京都中野区にある都立富士高校の校内において太陽黒点観測に適した場所を調査した。シーイングには観測環境が影響する^[3]ことがわかっている。特に、水辺の環境が良いとされているため、我々は屋上とプールサイドの2か所で試験観測を行い、独自プログラムでシーイングを数値化した。

2. 観測

1分おき10秒、5回の観測(1セット)を、場所を交互に1日7セット、計5日分を行った。表1に観測環境を示す。

表 1 観測環境

場所	屋上(35.69° ,139.67° ,高さ47.1m)																																	
日付	2024年11月4日				2024年11月23日				2024年12月7日				2024年12月22日				2025年1月13日																	
気温	22	27	27	23	11	12	14	13	16	18	16	18	12	14	14	14	11	17	15	13														
湿度	42	35	32	35	38	35	35	33	32	28	30	32	43	37	35	35	30	26	30	30														
風向	NE	N	NW	NW	NW	NW	NW	NW	SE	SE	SE	SE	SW	SE	NW	SW	E	N	E	NE														
風速	0.3	1.3	3.8	7.3	9.7	14.9	12.3	9.4	9.9	4.8	4.3	4.5	11	11.2	11.7	10.5	18.9	16.5	20.5	18.5														
プールサイド(35.69° ,139.67° ,高さ39.5m)																																		
2024年11月4日																2024年11月23日				2024年12月7日				2024年12月22日				2025年1月13日						
24 <td>29</td> <td>24</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>19</td> <td>19</td> <td>17</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>15</td> <td>16</td> <td>16</td> <td>155</td> <td colspan="5"></td>																29	24	15	15	16	19	19	17	14	15	15	16	16	155					
42 <td>35</td> <td>42</td> <td>33</td> <td>34</td> <td>32</td> <td>28</td> <td>28</td> <td>29</td> <td>36</td> <td>35</td> <td>35</td> <td>27</td> <td>27</td> <td>29</td> <td colspan="5"></td>																35	42	33	34	32	28	28	29	36	35	35	27	27	29					
N <td>NE</td> <td>SE</td> <td>NW</td> <td>NW</td> <td>NW</td> <td>NW</td> <td>NW</td> <td>NW</td> <td>N</td> <td>NW</td> <td>NW</td> <td>NE</td> <td>NE</td> <td>N</td> <td colspan="5"></td>																NE	SE	NW	NW	NW	NW	NW	NW	N	NW	NW	NE	NE	N					
0.3 <td>3.0</td> <td>10.2</td> <td>13.6</td> <td>7.3</td> <td>9.0</td> <td>7.3</td> <td>3.0</td> <td>4.5</td> <td>16.5</td> <td>9.3</td> <td>11.1</td> <td>21</td> <td>21.7</td> <td>20.2</td> <td colspan="5"></td>																3.0	10.2	13.6	7.3	9.0	7.3	3.0	4.5	16.5	9.3	11.1	21	21.7	20.2					
																観測装置										スペック								
																望遠鏡(Skywatcher ソーラークエスト705)										口径70mm(φ) 焦点距離500mm								
																カメラ (ZWO ASI432NM)										最大感度長さ580nm(λ) タイプニッケルン7nm(λ) 露光 1/4000sec. 110fps撮影 解像度 1080×1104								
																回折限界(L)										$L=1.22 \times (\lambda / D) \times 2.09^{\circ}$								
																空間系統誤差										$\delta r = \frac{3.7-L}{F} = 0.12 [\%]$ ピクセル分解能 3.7"								

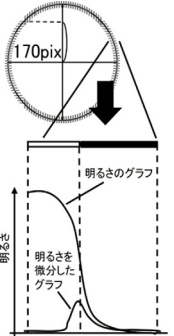


図 1 評価方法

3. シーイングの解析手順

- 太陽像を円と仮定し、その中心と半径を求める。太陽像の縁付近(図1円周部分)でのピクセルの明るさを取得し、明るさのグラフを作成する。さらにそのグラフを空間的に微分したグラフを作成する。
- 明るさを微分したグラフの最大値がある点が太陽像の縁であると考え、その点から太陽像の中心を通る直線までの距離を求め、計算によって求めた理論上の距離との差を求める。
- 1か所で観測された各50秒間の動画について、動画全体における観測された距離と理論上の距離の差について標準偏差を求めることでゆらぎの大きさを推定する。ここで、3.において太陽像の縁を検出するために使用するピクセルの並ぶ方向は、太陽像1周を評価できるように、中心を通り直行する直線から、170ピクセル離れるまでの範囲で向きを変え、1枚の太陽画像につき1360の点で明るさを測定した。

4. シーイングの解析結果

解析結果をまとめた表2より、観測される太陽像上の距離 r 、理論上の大きさ $\bar{r}$ について屋上で $r = \bar{r} \pm 8.86''$ 、プールサイドで $r = \bar{r} \pm 8.97''$ と表せる。また、各場所の画像のゆらぎの大きさの1 σ 範囲を考慮してゆらぎの大きさを比較すると、屋上でのゆらぎの大きさが有意に小さいといえるものが最も多かった。

5. 考察

シーイングは屋上のほうが0.11'' だけ小さかった。これは、プールサイドの観測環境が壁に近く空気の流れがより乱れた一方、屋上は周囲が開けた環境であったために大気の流れが層流に近い状態だったことが考えられる。図2では最もシーイングの良い10秒間の動画について、フレームごとの標準偏差の値(実線)とその10項移動平均(点線)の変動を示す。移動平均の変動からシーイングの変動は一定範囲内で起きていることが推測できた。今回実施したのは試験観測であり、今後場所や季節を変えてより多くのデータを使用した分析が必要である。

参考文献

[1] 宮良碧ら他, 太陽像によるシーイングサイズの測定手法の開発, 天文学に関する技術シンポジウム集録, 第37巻, 2017
[2] 日本天文学会編, 天文学辞典, <https://astro-dic.jp/> (2024年11月20日閲覧)
[3] H. Socas-Navarro et al., Solar Site Survey for the Advanced Technology Solar Telescope. I. Analysis of the Seeing Data, Publications of the Astronomical Society of the Pacific, 117, 837, pp.1296-1305, 2005

表 2 各動画におけるゆらぎの大きさ

	2024年 11月4日		2024年 11月23日		2024年 12月7日		2024年 12月22日		2025年 1月13日	
比較	屋上	プール	屋上	プール	屋上	プール	屋上	プール	屋上	プール
1	8.379	8.847	9.303	8.926	9.353	9.081	8.756	8.738	8.305	8.645
2	8.713	8.847	8.986	8.926	9.175	9.081	8.792	8.738	8.535	8.645
3	8.713	9.376	8.986	8.860	9.175	9.023	8.792	8.721	8.535	9.068
4	9.016	9.376	8.377	8.860	8.850	9.023	8.840	8.721	8.466	9.068
5	9.016	8.702	8.377	9.081	8.850	9.649	8.840	8.981	8.466	8.897
6	8.933	8.702	8.986	9.081	9.372	9.649	8.966	8.981	8.999	8.897
1 σ	0.246	0.3549	0.335	0.114	0.209	0.346	0.079	0.146	0.258	0.208

単位は秒角["]

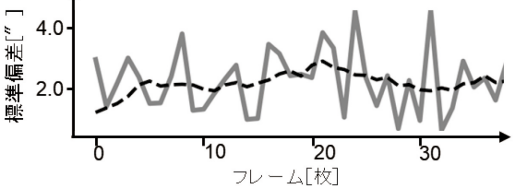


図2 標準偏差とその移動平均(抜粋)